

日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

JC922 U.S. PTO  
09/669732  
09/26/00



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

1999年 9月27日

出願番号  
Application Number:

平成11年特許願第273216号

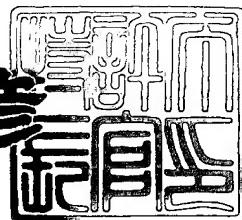
出願人  
Applicant(s):

株式会社東芝

2000年 6月29日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3051636

【書類名】 特許願  
 【整理番号】 A009904760  
 【提出日】 平成11年 9月27日  
 【あて先】 特許庁長官 殿  
 【国際特許分類】 G03F 7/20  
 【発明の名称】 荷電ビーム露光方法  
 【請求項の数】 9  
 【発明者】  
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横  
浜事業所内  
 【氏名】 中杉 哲郎  
 【発明者】  
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横  
浜事業所内  
 【氏名】 小池 徹  
 【特許出願人】  
 【識別番号】 000003078  
 【氏名又は名称】 株式会社 東芝  
 【代理人】  
 【識別番号】 100058479  
 【弁理士】  
 【氏名又は名称】 鈴江 武彦  
 【電話番号】 03-3502-3181  
 【選任した代理人】  
 【識別番号】 100084618  
 【弁理士】  
 【氏名又は名称】 村松 貞男  
 【選任した代理人】  
 【識別番号】 100068814

【弁理士】

【氏名又は名称】 坪井 淳

【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

【選任した代理人】

【識別番号】 100070437

【弁理士】

【氏名又は名称】 河井 将次

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 荷電ビーム露光方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板に位置合わせ露光の基準となるマークが形成されており、該マークを含む前記基板上に被加工膜が形成された試料に荷電粒子により第1のビーム照射を行い前記マークを含む前記試料表面を帯電させる工程と、

前記第1のビーム照射とは異なる条件により荷電粒子により第2のビーム照射を行い前記マークを走査して、前記試料表面からの2次電子を検出することにより前記マーク位置を求める工程と、

前記マーク位置に基づいて位置合わせ露光を行う工程と

を具備してなることを特徴とする荷電ビーム露光方法。

【請求項2】 基板に位置合わせ露光の基準となる第1のマークが形成されており、第1のマークを含む前記基板上に被加工膜が形成された試料に対して、第1のマークとの相対位置の計測に用いられ、前記基板表面部分の上に形成された第2のマークを含むパターンを位置合わせ露光によって形成する工程と、

第1のマーク及び第2のマークを有する前記試料に荷電粒子により第1のビーム照射を行い第1のマークを含む前記試料表面を帯電させる工程と、

前記第1のビーム照射とは異なる条件により荷電粒子により第2のビーム照射を行い第1及び第2のマークを走査して、前記試料表面からの2次電子を検出することにより第1及び第2のマーク位置を求める工程と、

第1及び第2のマーク位置に基づいて合わせずれ計測を行う工程と

を具備してなることを特徴とする荷電ビーム露光方法。

【請求項3】 第1のビーム照射により前記試料表面に照射される荷電粒子量に対して第2のビーム照射により前記試料表面に照射される荷電粒子量が少なくなるように、第1及び第2のビーム照射条件を変化させることを特徴とする請求項1又は2に記載の荷電ビーム露光方法。

【請求項4】 第1及び第2のビーム照射条件とは、加速電圧、ビームサイズ、ビーム電流密度、ビーム走査速度及びビーム走査位置のうちの少なくとも一つであることを特徴とする請求項3に記載の荷電ビーム露光方法。

【請求項5】 第1のビーム照射の後、帯電した前記試料表面からの2次電子を検出して前記マーク又は第1のマークのおおよその位置を求め、該位置に基づいて第2のビーム照射を行うことを特徴とする請求項1又は2に記載の荷電ビーム露光方法。

【請求項6】 第2のビーム照射は、前記試料上の位置に応じて加速電圧、ビームサイズ、ビーム電流密度、ビーム走査速度、ビーム走査位置及びビーム形状の少なくとも一つを変化させて行うことを特徴とする請求項5に記載の荷電ビーム露光方法。

【請求項7】 第2のビーム照射は、前記マーク、第1のマーク又は第2のマークのエッジ位置のみに走査して行うことを特徴とする請求項5に記載の荷電ビーム露光方法。

【請求項8】 第2のビーム照射は、前記マーク又は第1及び第2のマークに対して対称に互いに逆方向に交互に少なくとも1回走査することにより行うことを特徴とする請求項1又は2に記載の荷電ビーム露光方法。

【請求項9】 第1及び第2のビーム照射条件は、ビーム走査方向と垂直な方向に複数のビーム幅を有するビームを前記マーク、第1のマーク又は第2のマークの上を走査させて得られるマーク像に基づいて決定されることを特徴とする請求項1又は2に記載の荷電ビーム露光方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、荷電粒子ビームを用いて位置合わせ露光や合わせずれ計測を行う荷電ビーム露光方法に関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

従来の電子ビームによる位置合わせ露光の概念図を図15に示す。図15に示すように、位置合わせの対象とする試料は、シリコン基板101上に絶縁膜102及びレジスト103が積層形成され、シリコン基板101表面であって絶縁膜102内に下地マーク104が形成されている。

## 【0003】

このように、レジスト103表面から深い位置にある下地マーク104に  
対して電子ビーム105を走査し、下地マーク104から発生する反射電子10  
6を検出器107により検出していた。しかしながら、電子ビーム105のエネ  
ルギーが低い場合には、電子の飛程が小さいため、レジスト103表面から深い  
位置にある下地マーク104まで電子が達しないとの問題があった。

## 【0004】

そこで考案されたのが図16に示す位置合わせ露光方法である。図16(a)  
は位置合わせ露光の概念図である。位置合わせの対象とする試料は、図15に示  
したものと同じである。

## 【0005】

下地マーク104に対して所定の加速電圧を有する電子ビーム105を照射す  
ると、電子ビーム105により試料表面に帯電した部分112が現れる。料表面  
から深い位置にあるマーク104が形成されている部分とそうでない部分にはパ  
ターンの凹凸や材質の差に起因する静的静電容量113及び114の差が生じ、  
試料表面における帯電が生じた部分112において表面電位差を引き起こして、  
電子ビーム105照射時の2次電子115の放出コントラスト像となって現れる  
。このコントラスト像を検出器107により検出することにより下地マーク10  
4の位置を特定し、電子ビーム露光における位置合わせを行うことができる。

## 【0006】

図16(b)は、試料を正に帯電せしめた場合の試料の表面電位を示す図であ  
る。表面電位が大きくなっている部分が、下地マーク104が形成されている部  
分に相当する。図16(c)は、試料を正に帯電せしめた場合の試料表面の電位  
差に基づく2次電子波形を示す図である。2次電子量が大きく減少している部分  
が下地マーク104が形成されている部分である。

## 【0007】

同様の帶電現象を用いれば、半導体製造工程のリソグラフィ工程における合  
わせずれ計測を電子顕微鏡(SEM)を用いて行うことができる。図13に帶電現  
象を用いた合わせずれ計測の概念図を示す。図13(a)は、合わせずれ計測用

マークの上面図であり、図13（b）は同合わせずれマークの断面図を示している。図中151はシリコン基板であり、152はシリコン窒化膜、153はシリコン酸化膜、154は反射防止膜、156は下地シリコン基板に形成された第1のマーク、157はフォトレジストで形成された第2のマークである。第1のマーク156は、シリコン基板及びシリコン窒化膜を彫り込んで形成されている。シリコン酸化膜153は第1のマーク156を埋め込むようにして、基板全面に成膜され、化学的機械研磨（CMP）により平坦化されている。合わせずれ検査は、第1のマーク156及び第2のマーク157を横切るように電子ビームを走査し（図中158）、図13（c）のような2次電子の信号波形を得ることで可能になる。

#### 【0008】

しかしながら、この方法にも以下のような問題があった。

#### 【0009】

図16（d）は、この帶電現象を利用した従来の位置合わせ方法の問題点を示す図であり、照射時間と試料の表面電位との関係を示す図である。ここでは、試料を正に帯電せしめた場合について説明する。実線が下地マーク104が形成されていない部分の表面電位を、破線が下地マーク104が形成されている部分の表面電位を示す。位置合わせ用下地マーク104の位置のS/N比を高めるためには、下地マーク104上にビーム走査を複数回行い、検出信号を平均加算する必要がある。

#### 【0010】

しかしながら、帶電を利用した上述の現象は、図16（c）に示すように時間的に過渡的なものである。照射時間を $t_1 \sim t_3$ に分割した場合、 $t_2$ に示される時間が表面電位差が充分にあり、充分なコントラストを持ってマーク像を観察できる時間である。

#### 【0011】

帶電が過度に生じると照射時間 $t_3$ で示される時間帯となり、表面電位の差が生じにくくなり、マーク像が見えなくなる。逆に、ビーム照射量が不足している場合には帶電現象そのものが生じにくく、照射時間 $t_1$ で示される時間帯では、

マーク像観察が困難となる。マーク像観察の際のビーム電流が大きすぎる場合には、過度の帶電が短時間で起こり、マーク像観察ができる時間  $t_2$  を充分に取ることができない。一方、ビーム電流が小さすぎる場合には、マーク像を観察できない無駄時間  $t_1$  が長くなり、高速なマーク像の観察ができなくなる。

#### 【0012】

最適なマーク検出条件は下地マーク104の上層に成膜される絶縁膜の厚さや種類によっても異なるが、上述した問題点からも分かるように、像観察条件の設定は極めて困難であるのが現状である。また、同様の問題は、位置合わせ露光のみならず、合わせずれ計測等においても生じる。

#### 【0013】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上述したように従来の電子ビーム露光における位置合わせ方法では、帶電現象を利用することにより深い位置に形成されたマークも検出可能となったが、帶電現象は時間と共に変化しやすいものであるため、精度の高いマーク検出は困難であった。同様に帶電現象を用いた合わせずれ計測においても、精度の高いマーク検出は困難であった。

#### 【0014】

本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、より高精度な位置合わせマークの検出又は計測を可能とする荷電ビーム露光方法を提供することにある。

#### 【0015】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明に係る荷電ビーム露光方法は、基板に位置合わせ露光の基準となるマークが形成されており、該マークを含む前記基板上に被加工膜が形成された試料に荷電粒子により第1のビーム照射を行い前記マークを含む前記試料表面を帶電させる工程と、前記第1のビーム照射とは異なる条件により荷電粒子により第2のビーム照射を行い前記マークを走査して、前記試料表面からの2次電子を検出することにより前記マーク位置を求める工程と、前記マーク位置に基づいて位置合わせ露光を行う工程とを具備してなることを特徴とする。

## 【0016】

また、別の本発明に係る荷電ビーム露光方法は、基板に位置合わせ露光の基準となる第1のマークが形成されており、該第1のマークを含む前記基板上に被加工膜が形成された試料に対して、前記第1のマークとの相対位置の計測に用いられ、前記基板表面部分の上に形成された第2のマークを含むパターンを位置合わせ露光によって形成する工程と、第1のマーク及び第2のマークを有する試料に荷電粒子により第1のビーム照射を行い第1のマークを含む前記試料表面を帶電させる工程と、前記第1のビーム照射とは異なる条件により荷電粒子により第2のビーム照射を行い第1及び第2のマークを走査して、前記試料表面からの2次電子を検出することにより第1及び第2のマーク位置を求める工程と、第1及び第2のマーク位置に基づいて合わせずれ計測を行う工程とを具備してなることを特徴とする。

## 【0017】

本発明の望ましい形態を以下に示す。

## 【0018】

(1) 第1及び第2のビーム照射は、それぞれ加速電圧、ビームサイズ、ビーム電流密度、ビーム走査速度及びビーム走査位置の少なくとも一つを変化させる。

## 【0019】

(2) 第1のビーム照射の後、帶電した前記試料表面からの2次電子を検出してマーク(以下、第1及び第2のマークを含む)のおおよその位置を求め、該位置に基づいて第2のビーム照射を行う。

## 【0020】

(3) (2)において、第2のビーム照射は、前記試料上の位置に応じて加速電圧、ビームサイズ、ビーム電流密度、ビーム走査速度、ビーム走査位置及びビーム形状の少なくとも一つを変化させて行う。

## 【0021】

(4) (2)において、第2のビーム照射は、マークのエッジ位置のみに走査して行う。

## 【0022】

(5) 第2のビーム照射は、マークに対して対称に互いに逆方向に交互に少なくとも1回走査することにより行う。

#### 【0023】

(6) 第1及び第2のビーム照射条件は、ビーム走査方向と垂直な方向に複数のビーム幅を有するビームを前記マーク上を走査させて得られるマーク像に基づいて決定される。

#### 【0024】

##### (作用)

本発明では、マーク検出のためのビーム照射工程を第1及び第2のビーム照射の2工程に分割し、第1のビーム照射により試料表面を帯電させ、第2のビーム照射によりビーム走査して試料表面のマーク像を取得することにより、高精度のマーク像検出を行うことができる。すなわち、第1のビーム照射で、下地マーク近傍のレジスト表面が充分に帯電しているため、マーク上とそれ以外の部分で充分な電位コントラストが発生している。従って、第2のビーム照射によりマーク像を取得する場合には、高精度のマーク像の検出が可能となる。特に、帯電不足によって生じる電位コントラストの悪い状態でマーク像を検出することはない。なお、本発明のマーク像の検出は、位置合わせ露光、合わせずれ計測のいずれにおいても適用可能である。

#### 【0025】

試料を帯電せしめるためには、以下のようにする。図10に、電子ビームの加速電圧と2次電子の放出効率の関係の一例を示す。ここで、試料はレジストであり、横軸は加速電圧、縦軸は試料表面からの2次電子の放出効率を示している。レジストにおいては、400V～1000Vの範囲で、表面から放出される2次電子の量が1を上回るために正に帯電する。

#### 【0026】

一方、加速電圧400V以下、若しくは1000V以上にすると、2次電子の放出効率は1を下回り、負に帯電する。すなわち、試料を正に帯電せしめるためには、400V～1000V程度の加速電圧を選択し、負に帯電せしめるためには、この範囲以外の加速電圧を選択すればよい。2次電子の放出効率が1を超える

る加速電圧を範囲は試料によって異なるが、加速電圧と2次電子の関係はおおよそ同じである。

## 【0027】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

## 【0028】

## (第1実施形態)

図1は本発明の第1実施形態に係る荷電ビーム露光方法の対象とする試料の構成を示す図である。本実施形態乃至第4実施形態では、本発明を位置合わせ露光に適用する場合について説明する。

## 【0029】

図1(a)は、位置合わせマークの上面図であり、試料に形成された位置合わせマークは十字型をしている。図1(b)は、図1(a)のA-A'部の試料断面を示している。図1(b)に示すように、シリコン基板1の上にシリコン酸化膜2が $1\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で形成され、このシリコン酸化膜2の上にパターン転写膜5として膜厚 $50\text{ nm}$ のシリコン窒化膜が形成され、さらにその上にはレジスト3が $50\text{ nm}$ の膜厚で形成されている。また、シリコン基板1にはプラズマエッチングにより彫り込まれた深さ $300\text{ nm}$ の凹部にシリコン基板1とは異なる物質(例えばシリコン酸化膜)が埋め込まれることにより、下地マーク4が形成されている。

## 【0030】

この図1に示した試料に対する荷電ビーム位置合わせ方法を図2に示すフローチャートを用いて説明する。

## 【0031】

まず、位置合わせ露光の対象とする試料を図示しない電子ビーム露光装置の試料ステージに搬送する。本実施形態で使用する電子ビーム露光装置は、加速電圧は $1\text{ kV}$ で、主副2段の静電偏向器を有している。主偏向幅及び副偏向サイズはそれぞれ $1500\text{ }\mu\text{m}$ 幅、 $50\text{ }\mu\text{m}$ 角である。本装置を用いた場合、レジスト膜厚を $50\text{ nm}$ 以下とすると、電子銃から発せられる電子ビームの加速電圧が $1\text{ kV}$

V程度であっても垂直な断面形状を持つレジストパターンを形成することが可能である。また、最大ビームサイズは $10\text{ }\mu\text{m}$ 、電流密度は $1\text{ A}/\text{cm}^2$ である。

#### 【0032】

そして、予め電子ビーム露光装置に設けられた制御計算機に入力された下地マーク4の試料上の位置に基づいて、この電子ビーム露光装置のビーム偏向領域の中心に下地マーク4を移動させる（S1）。

#### 【0033】

次に、第1のビーム照射を行うべく、第1のビーム照射条件を設定する（S2）。具体的には、ビームサイズを $10\text{ }\mu\text{m}$ とし、1ショット当たりのビーム照射時間を $500\text{ ns}$ 、アンプ整定時間を $100\text{ ns}$ とし、多重露光によって、総露光量を $20\text{ }\mu\text{C}/\text{cm}^2$ とする。

#### 【0034】

以上に示された第1のビーム照射条件に基づいて、第1のビーム照射を行う（S3）。この第1のビーム照射の概念図を図3（a）に示す。この第1のビーム照射は、下地マーク4を含んだ所定のビーム照射領域21に電子ビーム105を照射する。この露光により、下地マーク4近傍のレジスト表面を充分に帯電させ、下地マーク4上とそれ以外の部分とで充分な電位コントラストを発生させる。また、アンプの整定時間は約 $100\text{ ns}$ であるが、この第1のビーム照射ではアンプの整定はあまり考慮する必要が無い。この第1のビーム照射は下地マーク4近傍を帯電させることを目的としており、精度の高い信号波形を抽出することを目的とはしていないからである。従って、より短時間で高速なビーム照射が行われる。ここで、整定時間とは、電子ビーム露光装置を用いてビーム照射を行う場合、電子ビームが照射されてからアンプの過渡特性を無視することができるまでの時間を意味する。また、この第1のビーム照射の際には、ビーム照射領域同士の重なりはない。

#### 【0035】

次に、第2のビーム照射を行うべく、第2のビーム照射条件を設定する（S4）。具体的には、ビームサイズを第1の照射条件よりも小さく $0.1\text{ }\mu\text{m}$ とし、ビーム照射時間を第1の照射時間よりも長く $200\text{ ns}$ とする。このようにビー

ム照射時間を長くすることにより、充分なアンプ整定時間をとり、次に行われるマーク像の検出の精度を高める。ここでは、アンプ整定時間を300n sとする。なお、第1のビーム照射により試料表面に照射される単位時間当たりの電子量が第2のビーム照射により試料表面に照射される電子量よりも多くなるように設定する。ここでいう単位時間とは、1ショット当たりのビーム照射時間とアンプ整定時間の和を示している。

#### 【0036】

以上に示された第2のビーム照射条件に基づいて、第2のビーム照射を行う(S5)。この第2のビーム照射では、下地マーク4上を電子ビームで走査する。この第2のビーム照射の概念図を図3(b)に示す。このビーム照射は、マーク像検出のために行うため、下地マーク4の一部を横切るように細いビーム照射領域22に電子ビーム105によりビーム走査を行う。なお、図3(b)には第1のビーム照射におけるビーム照射領域21を破線で示しているが、このビーム照射領域21よりも第2のビーム照射領域22は細い領域であることが分かる。

#### 【0037】

この第2のビーム照射後に、図示しない検出器を用いてマーク像を検出し、検出された信号波形について平均加算処理を行ってマーク像を取得する(S6)。このマーク像の取得の際には、第1のビーム照射により既に下地マーク4近傍のレジスト表面が充分に帯電しており、下地マーク4上とそれ以外の部分で充分なコントラストが発生している。従って、第2のビーム照射によるビーム走査でマーク像を取得する段階にあっては、高精度なマーク像の検出が可能となる。特に、帯電不足によって生じる電位コントラストの悪い状態におけるマーク像を検出することができない。なお、上記説明では、十字型をした位置合わせマークの一辺を用いて、X方向(横方向)のマーク検出について説明したが、同様の方法で、Y方向(縦方向)のマーク位置検出を行うことで、位置合わせマークの位置を求めることができる。

#### 【0038】

そして、得られたマーク像に基づいて、電子ビーム露光装置の制御計算機でマーク位置を検出する(S7)。そして、試料に形成されているすべての下地マー

クについて上記 S 1 ~ S 7 に示される工程を経て、計算されたマーク位置情報に基づいて、露光すべきパターンの位置を決定する (S 8)。そして、決定されたパターン位置に加速電圧 1 kV でパターン露光を行う (S 9)。

#### 【0039】

以上の工程でのマーク検出における電子ビームの照射時間と試料の表面電位との関係を図 4 に示す。ここでは、加速電圧が 1 kV であるので、レジスト表面は正に帯電している。実線が下地マーク 4 が形成されていない部分の表面電位を、破線が下地マーク 4 が形成されている部分の表面電位を示す。時間 0 を第 1 のビーム照射開始時とし、時間を  $t_1$  " ~  $t_3$  " に分割した場合、 $t_2$  " に示される時間が、表面電位差が充分にあり、充分なコントラストを持って像を観察できる時間である。従来法に基づく時間と試料の表面電位との関係を示す図 16 (c) と比較すれば分かるように、本実施形態では、試料が充分に帯電して表面電位差が充分になるまでの時間  $t_1'$  が従来のそれ ( $t_1$ ) に比較して短くなっている。これは、第 1 のビーム照射を非常に高速に行った結果である。また、像を観察できる時間  $t_2'$  は、従来のそれ ( $t_2$ ) に比較して充分に長くなっている。これは、第 2 のビーム照射により試料表面に照射される単位時間当たりの電子量を第 1 のビーム照射により試料表面に照射される電子量に対して少なくして行った結果である。また、第 1 のビーム照射領域が、第 2 のビーム照射領域に比較して充分に大きいことから、第 2 のビーム照射領域の近傍が一様に帯電している。この結果、高精度のマーク位置検出が可能となる。

#### 【0040】

このように、ビーム照射工程を第 1 及び第 2 のビーム照射の 2 工程に分割し、第 1 のビーム照射により試料表面を帯電させ、第 2 のビーム照射によりビーム走査して試料表面のマーク像を取得することにより、高精度のマーク像検出を行うことができる。すなわち、第 1 のビーム照射で、下地マーク近傍のレジスト表面が充分に帯電しているため、マーク上とそれ以外の部分で充分な電位コントラストが発生している。従って、第 2 のビーム照射によりマーク像を取得する場合には、高精度のマーク像の検出が可能となる。特に、帯電不足によって生じる電位コントラストの悪い状態でマーク像を検出することはない。

## 【0041】

また、第1のビーム照射を高速に行っているため、従来法に比較してマーク像を高速に取得することができる。この結果、高精度で高速な位置合わせ露光が可能となる。

## 【0042】

なお、上記実施形態では第1及び第2のビーム照射において、ビームサイズとビーム走査速度を変化させたが、ビーム電流密度、ビーム走査位置、ビーム形状等他のパラメータを変化させることでも上記と同様の効果を得ることができる。

## 【0043】

## (第2実施形態)

本実施形態は、第1実施形態の変形例に係わる。本実施形態の特徴点は、第1のビーム照射後に試料表面電位差に基づきおおよそのマーク位置を検出し、そのマーク位置に基づいて第2のビーム照射を行う点であり、第1実施形態と共通する工程の詳細な説明は省略する。使用する電子ビーム露光装置の構成及び試料の構成は第1実施形態と同じである。

## 【0044】

まず、位置合わせの対象とする試料を図示しない電子ビーム露光装置の試料ステージに搬送し、予め電子ビーム露光装置の制御計算機に入力された下地マーク4の試料上の位置に基づいてビーム偏向領域の中心に下地マーク4を移動させる点は第1実施形態と同じである。

## 【0045】

次に、第1のビーム照射を行うべく、第1のビーム照射条件を設定する。具体的には、1ショット当たりのビーム照射時間を500n s、アンプ整定時間を100n sとし、多重露光によって、総露光量を $20 \mu C/cm^2$ とする点は第1実施形態と共通するが、ビームサイズを0.5μmとする点が異なる。

## 【0046】

この第1のビーム照射条件に基づいて第1のビーム照射を行う。この第1のビーム照射の概念図を図5(a)に示す。51はこの第1のビーム照射におけるビーム照射領域である。電子ビーム105は矢印に示す方向に走査される。ビーム

間の重なりは無く、高速でビーム照射を行う。ここで、ビームサイズを $0.5\mu m$ としているため、 $0.5\mu m$ の位置分解能でおおよそのマーク位置を検出することができる。

## 【0047】

次に、この第1のビーム照射により帯電した試料表面からの2次電子を図示しない検出器で検出し、マーク像のコントラストからおおよそのマーク位置を検出する。

## 【0048】

次に、第2のビーム照射を行う。図5(b)は第2のビーム照射の概念図である。52はこの第2のビーム照射におけるビーム照射領域であり、電子ビーム105が矢印の方向に走査される。第2のビーム照射は、第1実施形態と同様にビームサイズを $0.1\mu m$ 、ビーム照射時間を $200\text{ n s}$ とし、充分なアンプ整定時間をとってビーム位置精度が向上するように配慮する。また、第1のビーム照射により得られたおおよそのマーク位置に基づいて、下地マーク4のエッジ部分にのみビーム走査を行う。

## 【0049】

そして、第2のビーム照射後に、図示しない検出器を用いてマーク像を検出し、信号処理を行いマーク像を取得する。そして、得られたマーク像に基づいてマーク位置を計算し、このマーク位置に基づいて加速電圧 $1\text{ kV}$ でパターン露光を行う。

## 【0050】

このように、本実施形態によれば、第1実施形態と同様の効果を奏するとともに、以下の作用効果を奏する。すなわち、第1のビーム照射でおおよそのマーク位置を検出し、第2のビーム照射において下地マーク4のエッジ部分にのみビーム走査を行うことにより、レジスト表面の過剰な感光を防ぐことができる。また、エッジ部分にのみビーム走査を行うため、ビーム走査回数を減らすことができ、マーク検出のさらなる高速化が図れる。

## 【0051】

(第3実施形態)

本実施形態は第2実施形態の変形例に係わる。なお、本実施形態では加速電圧を5kVとし、試料表面を負に帯電させた場合について説明する。本実施形態では、下地マーク4に対して対称な位置に交互にビーム走査を行う点に特徴がある。なお、第1及び第2のビーム照射によりマーク検出を行う点は第2実施形態と同様である。

#### 【0052】

第1のビーム照射工程は第2実施形態と同じく、ビームサイズを0.5μmとし、下地マーク4上の領域を一様に照射する。この際、ビーム照射領域同士の重なりはなく、1ショット当たりのビーム照射時間を500ns、アンプ整定時間をおおむね100nsとし、多重露光によって、総露光量を20μC/cm<sup>2</sup>として高速なビーム照射を行う。

#### 【0053】

この第1のビーム照射により、マーク像を取得し、そのコントラストからおよそそのマーク位置を検出する。

#### 【0054】

次いで、第2のビーム照射を行う。第2のビーム照射は、ビームサイズを0.1μmとし、マーク上を電子ビームで走査する。また、ビーム照射時間は200nsとし、充分なアンプ整定時間をとってビーム位置精度が向上するようにする。

#### 【0055】

図6(a)は本実施形態における位置合わせ露光における第2のビーム照射の概念図である。61a及び61bはビーム照射領域であり、矢印の方向に交互にビーム走査される。例えば、ビーム照射領域61aからビーム照射領域61bの位置までビーム走査し、その後ビーム照射領域61bの位置からビーム照射領域61aの位置まで同じ経路を逆に辿ってビーム走査する。これらビーム照射領域61a及び61bはマーク位置に対して対称の位置にある。このようなビーム走査を繰り返し行う点が本実施形態の特徴である。

#### 【0056】

このようにして得られた信号に平均加算処理を施してマーク像を取得する。

## 【0057】

そして、検出されたマーク像に基づいて図示しない電子ビーム露光装置の制御計算機でマーク位置を計算する。そして、すべてのマーク4について上記操作を行い得られたマーク位置の情報に基づいて加速電圧5kVでパターン露光する。

## 【0058】

以上説明したように、下地マーク4に対して対称かつ交互に繰り返しのビーム走査を行う利点を説明する。

## 【0059】

図7は、単一の方向にビームを走査してマーク検出を行う場合の概念図を示す。2次電子115が放出されるマーク部とそれ以外の部分では表面電位が異なる。このため、電子ビーム照射によって生じた2次電子は、検出器107で検出されるような試料から離れた方向に飛来する2次電子115のみならず、図7(a)に示すように試料表面に再入射する現象が生じる(以下、この現象を2次電子の再配分と呼ぶ)。この2次電子の再配分により再配分2次電子121が再度試料表面に達すると、パターン周辺部に暗部が出現する。

## 【0060】

図7(b)は、ビーム走査位置と試料の表面電位との関係を示す図である。図7(b)に示すように、下地マーク104の中心位置 $x_1$ を中心に、表面電位が減少しているが、その中心位置 $x_2$ からビームの走査方向に離れた位置 $x_2$ において、表面電位が相対的に増加する現象が生じる。図7(c)はビーム走査位置と2次電子量との関係を示す図である。図7(c)に示すように、下地マーク104の中心位置 $x_1$ を中心に、表面電位の小さくなった部分、すなわち負に帯電した領域で2次電子が増加しているが、その中心位置 $x_2$ からビームの走査方向に離れた位置 $x_2$ 、すなわち表面電位が相対的に増加している部分において、2次電子が減少している。この減少した2次電子は検出器107により検出されると暗部となって観察される。

## 【0061】

再配分2次電子121は下地マーク104に対して非対称に飛来する。これは、ビーム走査方向に対して下流側は、既に照射された電子により負に帯電してい

る。これに対してビームの走査方向上流、すなわち未だビームが照射されていない部分では、若干の帶電はあるものの未だビーム照射がなされていないため、帶電量は下流側に比較して低くなっている。従って、再配分2次電子121はビーム走査方向に対して上流側に飛来する率が高くなる。これを下地マーク104近傍をビーム走査する場合で考えると、下地マーク104のビーム走査方向上流側の方が再配分2次電子121は多くなる。再配分2次電子は数十eVのエネルギーを有しており、再配分2次電子の入射した部分、すなわちビーム走査方向上流側では2次電子の放出効率は大きくなる。2次電子の放出は負の帶電を緩和する方向に働くため、ビーム走査方向上流側の表面電位は相対的に正に帶電することになり、表面電位は下地マーク104に対して非対称となる。従って、図7(b)で得られる2次電子波形も下地マーク104に対して非対称になり、マーク位置の読み取り誤差が発生する。

#### 【0062】

そこで、本実施形態のように、マークに対して対称に、左右交互にビーム走査を繰り返すことにより、レジスト表面の帶電が均等に生じ、再配分される2次電子の飛来方向も均一化される。従って、マーク像検出の際の暗部の左右非対称を解消することができ、高精度な位置合わせが実現できる。なお、逆方向の繰り返し走査は、それぞれ同じ経路を辿る必要はなく、前に走査された部分による試料面の非対称な帶電を打ち消すような範囲であれば、前に走査された経路とずれた経路を辿って走査させてもよい。

#### 【0063】

図6(b)は、試料を負に帶電せしめた場合の試料の表面電位を示す図である。表面電位が小さくなっている部分が、下地マーク104が形成されている部分に相当する。

#### 【0064】

図6(c)は本実施形態のビーム走査を用いて検出された2次電子量とビーム走査位置との関係を示す図である。横軸はビーム走査位置、縦軸は2次電子量である。単一の方向にビーム走査を行った場合に見られた破線に示す非対称な波形が解消され、左右対称な波形となっていることが分かる。

## 【0065】

このように本実施形態では、第2実施形態と同様の効果を奏する。さらに本実施形態では、下地マークに対して対称な位置に交互にビーム走査を行っているため、レジスト表面の帶電が均等に生じる。従って、得られる2次電子信号波形のマークに対する非対称性を解消することができ、高精度な位置合わせが実現できる。

## 【0066】

本発明は上記実施形態に限定されるものではない。

## 【0067】

上記実施形態では第1及び第2のビーム照射でビームサイズを変える場合を示したが、加速電圧、ビーム電流密度、ビーム走査速度、ビーム走査位置、ビーム形状等を変える場合でも本発明の効果を奏する。ビーム電流密度を変える場合、第1のビーム照射に対して第2のビーム照射を小さい電流密度とするのが望ましい。また、ビーム速度を変える場合、第1のビーム照射に対して第2のビーム照射を高速にするのが望ましい。

## 【0068】

なお、ビーム形状を変える場合の一例を図8(a)及び(b)に示す。図8(a)は第1のビーム照射、図8(b)は第2のビーム照射の概念図である。同図に示されるように、第1のビーム形状81aに対して第2のビーム形状81bが、ビーム走査方向に対して細く絞られている。

## 【0069】

また、ビーム走査位置を変える場合の一例を図9(a)及び(b)に示す。図9(a)は第1のビーム照射、図9(b)は第2のビーム照射の概念図である。同図に示されるように、第1のビーム照射におけるビーム照射領域は下地マーク4を中心とした正方形の領域91aであるのに対して、第2のビーム照射におけるビーム照射領域は下地マーク4のエッジ部分(91b)のみである。なお、このビーム走査位置を異ならしめる場合には、第2のビーム照射によりマーク位置を取得する位置(本例におけるエッジ部分に相当する)は第1のビーム照射領域の中であることが必要である。

## 【0070】

また、加速電圧を変える場合について、望ましい方法を図10を用いて説明する。まず、試料表面を正に帯電させる場合、第1のビーム照射においては試料をより正に帯電させるために加速電圧を図中 $V_1$ とする。第2のビーム照射においては、第1のビーム照射よりも2次電子の放出効率を小さくした加速電圧 $V_2$ もしくは $V_2'$ を選択する。このようにすれば、第2のビーム照射における正の帯電の増加は、第1のビーム照射よりも緩やかになり高精度のマーク検出が可能となる。

## 【0071】

一方、試料表面を負に帯電させる場合には、第1のビーム照射においては、試料をより負に帯電させるために加速電圧を図中 $V_4$ 又は $V_4'$ とする。第2のビーム照射においては、第1のビーム照射よりも2次電子の放出効率を大きくした加速電圧 $V_3$ 又は $V_3'$ を選択する。このようにすれば、第2のビーム照射における負の帯電の増加は、第1のビーム照射よりも緩やかになり高精度のマーク検出が可能となる。

## 【0072】

なお、これら種々のパラメータを変化させる形態は、上記した例に限定されるものではないことはもちろんである。

## 【0073】

その他、本発明の本旨を逸脱しない範囲で種々変形して使用することができる。

## 【0074】

## (第4実施形態)

図11は本発明の第4実施形態に係る電子ビーム位置合わせ露光のフローチャートを示す図である。本実施形態は、第1及び第2のビーム照射を行う電子ビーム位置合わせ露光において、ビーム照射条件の最適化を行う形態に関する。

## 【0075】

本実施形態におけるビーム照射条件の最適化を図11に沿って説明する。

## 【0076】

まず、予め設定されたビーム走査条件を基にマーク走査を行う（S11）。このマーク走査に用いられるビーム形状を図12（a）に示す。同図に示すように、4段の階段状ビーム形状をなしている。このビーム形状は、矢印に示されるビーム走査方向と垂直な方向に4つのビーム幅 $d_1 \sim d_4$ を有している。

## 【0077】

このビーム形状を有する電子ビームで下地マーク4上を走査することにより、マーク像4'を取得する（S12）。マーク像4'から分かるように、4つのビーム幅 $d_1 \sim d_4$ のうち、ビーム幅の広い方から2段階まで（ $d_1 \sim d_2$ ）はマーク像として検出できたが、ビーム幅の狭い2段階ビーム（ $d_3 \sim d_4$ ）では、マーク像として検出できない。これは、図12（a）の2次電子波形111（ビーム幅が広い場合）及び112（ビーム幅が狭い場合）にも示したように、得られる2次電子波形がビーム幅の広い場合には試料表面に充分な量の電子が照射され、マーク部とそうでない部分とで充分に2次電子量が異なるが、ビーム幅の狭い場合には試料表面に照射される電子量が充分でなく、マーク部とそうでない部分とで2次電子量があまり変わらないからである。

## 【0078】

次に、得られたマーク像4'に基づいて、ビーム走査条件下でのビームサイズと信号波形のSN比との関係曲線を求める（S13）。得られた関係曲線を図12（b）に示す。横軸はビームサイズ、縦軸は信号波形のSN比である。

## 【0079】

そして、得られた関係曲線に基づいて良好なSN比、すなわち像コントラストの得られるビーム照射時間を変化させ（S14）、最適な像コントラストが得られるまで以上に示す工程（S11～S13）を繰り返す。

## 【0080】

そして、最適な像コントラストが得られた最適なビームサイズ及びビーム照射時間をマーク検出条件とし（S15）、これによりマーク検出を行う（S16）。なお、このマーク検出は、第1～第3実施形態に示した第1及び第2のビーム照射をいう。さらにその後、第1～第3実施形態と同様に、得られたマーク位置に基づいて位置合わせ露光を行う。

## 【0081】

このようなビーム最適化を用いる作用効果は、以下に示す通りである。すなわち、ビーム面積、ビーム走査速度、ビーム走査ピッチ又はビーム電流等を1パラメータずつ変えた場合、各条件を4条件ずつ変化させると、 $4^4 = 256$ 通りのビーム照射によりすべてのパラメータについて走査を行う必要がある。これに対して本実施形態のようにビーム走査方向と垂直な方向にビーム幅を4通りとしてマーク走査を行うことにより、一度の走査で単位面積当たりの帶電量が4通りについて走査していることとなる。従って、ビーム照射は64通りで済む。このため、ビーム走査条件の最適化を高速に行うことが可能となる。

## 【0082】

なお、本実施形態では階段状のビーム形状を用いたが、図12(c)及び(d)に示すように、3角形のビーム形状や、1/4円のビーム形状としても構わない。ビーム走査方向と垂直な方向に複数のビーム幅を有するビーム形状を有していれば本発明を適用可能である。

## 【0083】

## (第5実施形態)

上記第1～第4実施形態では本発明を位置合わせ露光に用いる場合を示したが、本実施形態では本発明をSEMを用いた合わせずれ計測に適用する場合に関する。本実施形態では、加速電圧を2kVとする。

## 【0084】

本実施形態で測定の対象として用いられる試料の構造を図13に示す。図13(a)は上面図、(b)は断面図、(c)はこの試料を走査して得られるビーム走査位置と2次電子量との関係を示す図である。

## 【0085】

図13(a)に示すように、正方形の4辺に対応した位置に、ライン状の第1のマーク156が4本配置されている。従って、向かい合う2つの第1のマーク156は互いに平行に配置され、かつ隣り合う第1のマーク156同士は垂直である。また、この第1のマーク156が配置された正方形よりも大きな正方形の4辺に対応した位置に、ライン状の第2のマーク157が4本配置されている。

この第2のマーク157は、下地マークである第1のマーク156に対して設計上同一の中心となるような平面構造となる。

#### 【0086】

このような第1のマーク156及び第2のマーク157の断面構造は、図3(b)に示す通りである。シリコン基板151上にシリコン窒化膜152が形成されており、このシリコン窒化膜152を貫通してシリコン基板151内に達する凹部が形成されている。この凹部を含めてシリコン窒化膜152上にはシリコン酸化膜153が形成されており、さらのその上には反射防止膜154が形成されている。そして、この反射防止膜154の上には、選択的にフォトトレジスト155が形成されている。そして、上記凹部に埋め込まれたシリコン酸化膜153が第1のマーク156として機能し、選択的に形成されたフォトトレジスト155が第2のマーク157として機能する。

#### 【0087】

以上に示した試料(基板)を、SEMの試料室内に搬入し、第1及び第2のマーク156及び157をSEMの電子ビーム偏向領域内に移動させる。次いで、観察倍率を10000倍、ビーム電流を10pA、走査周波数を1kHzとして、第1の電子ビーム照射を行う。ここで、第1のビーム照射領域は、図14における領域161に相当し、シリコン基板1の表面から深い位置に形成された第1のマーク156とその近傍のみを帯電せしめる。

#### 【0088】

第2のビーム照射は、観察倍率を5000倍、ビーム電流を5pA、走査周波数を1kHzとして行う。ここで、第2のビーム照射領域は図14中の領域162に相当する。第2のビーム照射では、第1のマーク156とフォトトレジストで形成された第2のマーク157を同時に走査する。この第2のビーム照射により得られる2次電子信号波形を図13(c)に示す。横軸はビーム走査位置、縦軸は2次電子量である。得られた2次電子信号波形に基づき、第1のマーク156及び第2のマーク157の相対的な位置ずれを測定することによって合わせずれ計測が可能となる。

#### 【0089】

このように、ビーム照射工程を第1及び第2のビーム照射工程に分割し、第1のビーム照射により試料表面を帯電させ、第2のビーム照射によりビーム走査して試料表面のマーク像を取得することにより、高精度のマーク像検出を行うことができる。すなわち、第1のビーム照射では、ビーム電流を10 pAとして第1のマーク156近傍のレジスト表面が充分に帯電しているため、マーク156上とそれ以外の部分で充分な電位コントラストが発生している。従って、ビーム電流を5 pAとした第2のビーム照射によりマーク像を取得する場合には高速かつ高精度のマーク像の検出が可能となる。特に、帯電不足によって生じる電位コントラストの悪い状態でマーク像を検出することはない。

#### 【0090】

また、第1のビーム照射では観察倍率を10000倍として、第1のマーク156近傍のみを帯電させ、第2のビーム照射では観察倍率を5000倍として、第1及び第2のマーク156及び157を同時に取得しているが、第1のビーム照射において、第2のマーク157にビーム照射を行っていないため、第2のマーク像を取得する際にも、なんら悪影響を及ぼすことはない。この結果、高精度の合わせずれ計測が可能となる。

#### 【0091】

なお、上記実施形態では第1及び第2のビーム照射において、ビーム電流を変化させたが、ビーム走査速度、ビームサイズ、ビーム電流密度、ビーム束七ビーム形状等他のパラメータを変化させることでも上記と同様の効果を奏することができる。

#### 【0092】

本発明は上記実施形態に限定されるものではない。

#### 【0093】

パターン露光の際の加速電圧を1 kV又は5 kVとしたが、加速電圧50 kV以上でパターン露光を行う場合にも本発明を適用可能である。また、本発明は電子ビーム露光装置の種類に制限されるものではない。例えば、部分一括露光型電子ビーム露光装置や可変成形型電子ビーム露光装置、マルチビーム型電子ビーム露光装置、丸ビーム型電子ビーム露光装置、一括露光型電子ビーム露光装置でも

、本発明を適用可能である。もちろん、試料に照射される物質は電子ビームではなくても、イオンビーム等、荷電粒子であれば何でもよい。さらに、露光装置ではなくても、例えば電子顕微鏡等でも合わせずれ計測に係わる本発明を適用可能である。

**【0094】**

**【発明の効果】**

以上詳述したように本発明によれば、帶電現象を利用した位置合わせ露光又は合わせずれ計測において、帶電を生ぜしめるビーム照射とマーク検出のためのビーム照射とに位置合わせ露光ビーム照射工程を分割し、それぞれ異なる条件でビーム照射することにより、より高精度のマーク像検出ができる。

**【図面の簡単な説明】**

**【図1】**

本発明の第1実施形態に係る電子ビーム位置合わせ露光の対象とする試料の構成を示す断面図。

**【図2】**

同実施形態に係る電子ビーム位置合わせ露光のフローチャートを示す図。

**【図3】**

同実施形態に係る第1及び第2のビーム露光の概念図。

**【図4】**

同実施形態に係る時間と試料の表面電位との関係を示す図。

**【図5】**

本発明の第2実施形態に係る第1及び第2のビーム照射の概念図。

**【図6】**

本発明の第3実施形態に係る第2のビーム照射の概念図。

**【図7】**

单一方向にビーム走査する場合の問題点を説明するための図。

**【図8】**

本発明の変形例における第1及び第2のビーム照射の概念図。

**【図9】**

本発明の変形例における第1及び第2のビーム照射の概念図。

【図10】

電子ビームの加速電圧と試料表面から放出される電子放出効率の関係曲線を示す図。

【図11】

本発明の第4実施形態に係る電子ビーム位置合わせ露光のフローチャートを示す図。

【図12】

同実施形態に係るビーム最適化の手法を説明するための図。

【図13】

本発明の対象とする電子ビーム合わせずれ計測を説明するための図。

【図14】

同実施形態に係る合わせずれ計測の概念図。

【図15】

従来の電子ビームによる位置合わせ露光の概念図。

【図16】

帯電現象を利用した従来の位置合わせ露光を説明するための図。

【符号の説明】

1 …シリコン基板

2 …シリコン酸化膜

3 …レジスト

4 …下地マーク

4' …マーク像

21, 22, 51, 52, 61a, 61b, 81a, 81b, 91a, 91b…

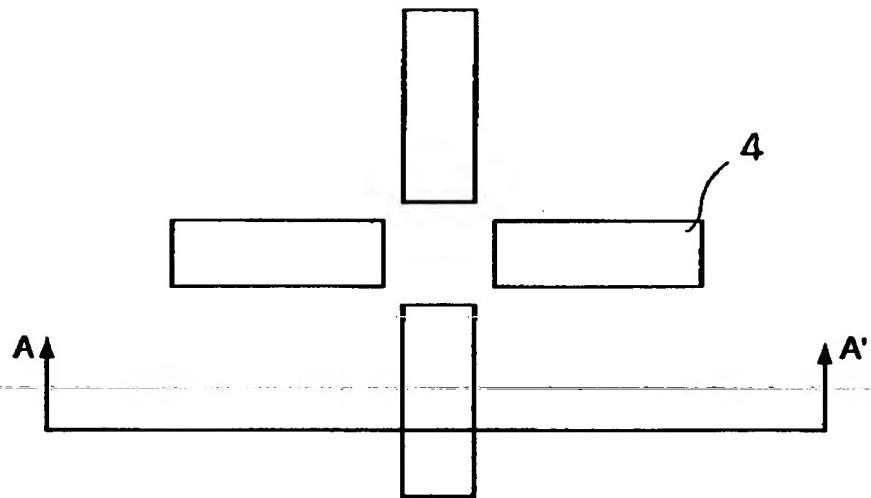
ビーム照射領域

111, 112…2次電子検出波形

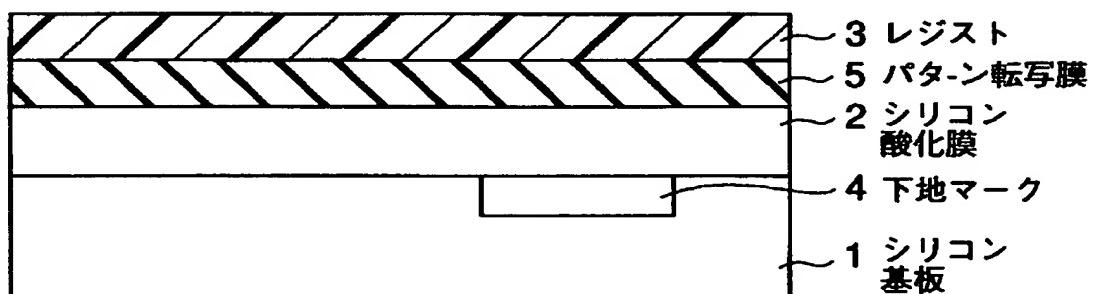
156…第1のマーク

157…第2のマーク

【書類名】 図面  
【図 1】

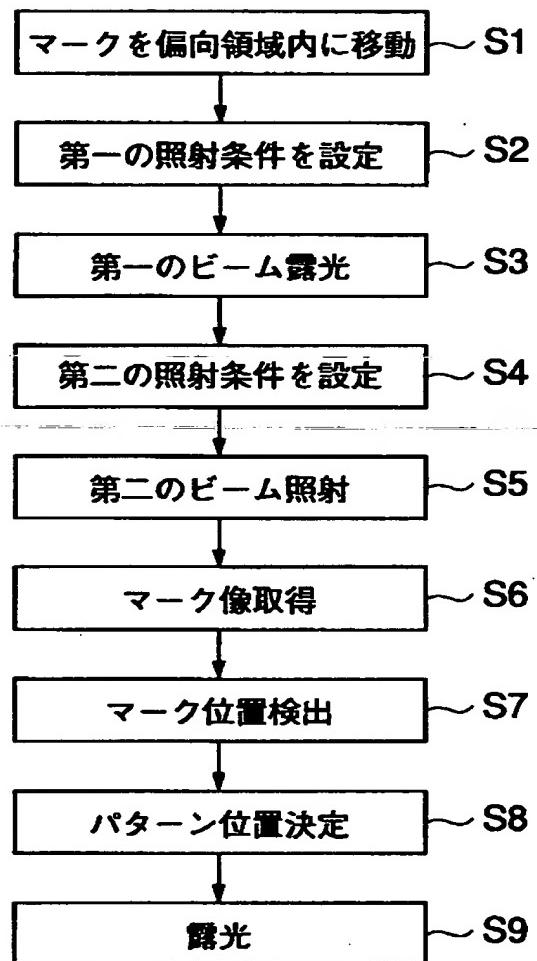


(a)



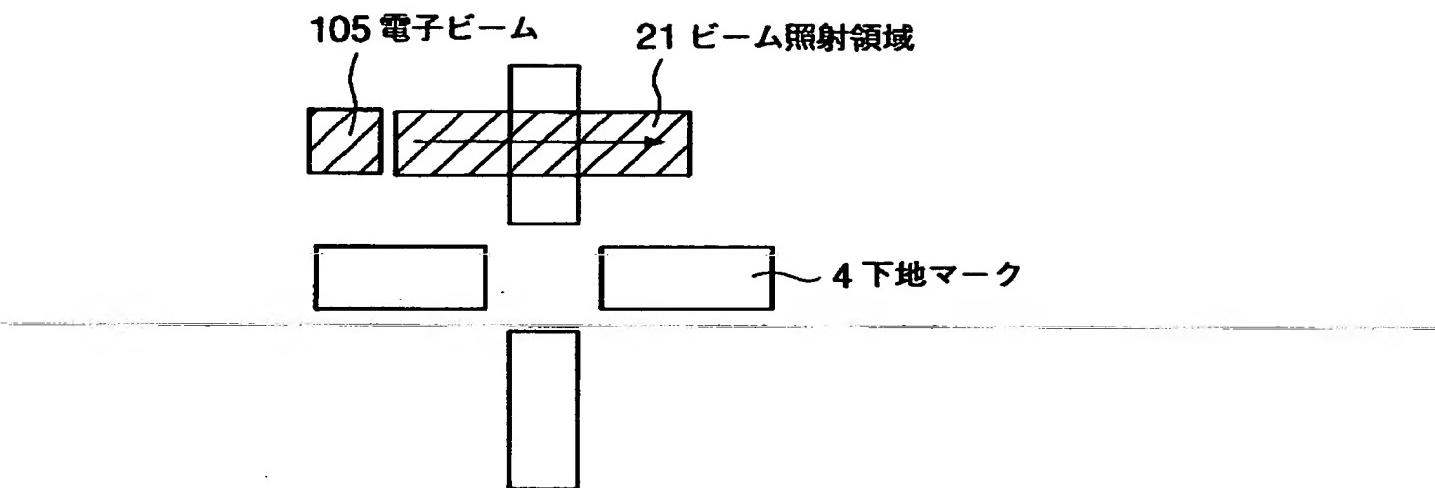
(b)

【図2】

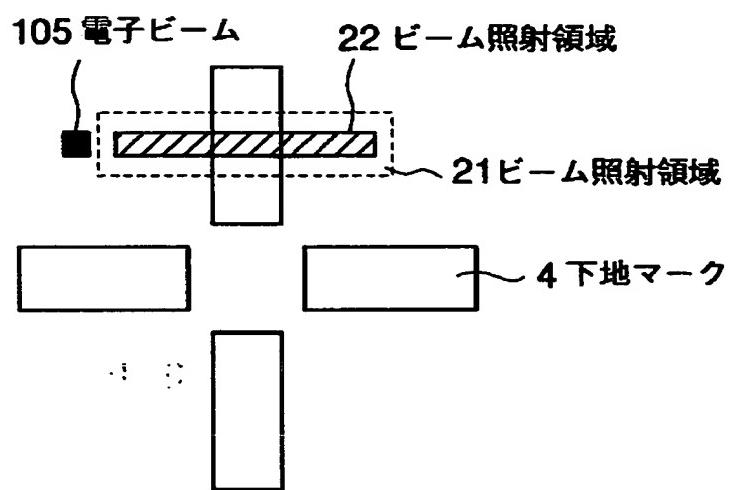


【図3】

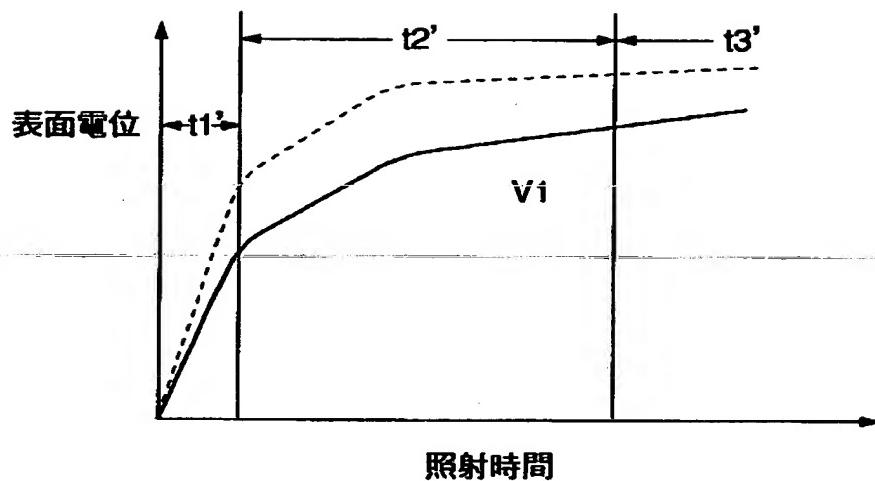
(a) 第一のビーム照射



(b) 第二のビーム照射

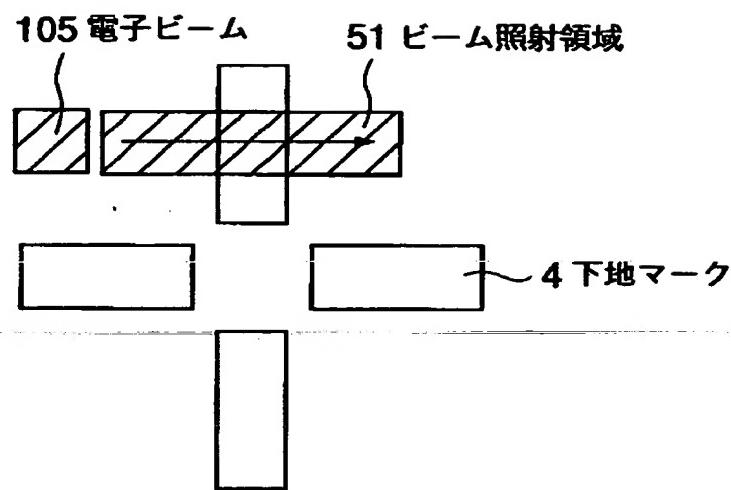


【図4】

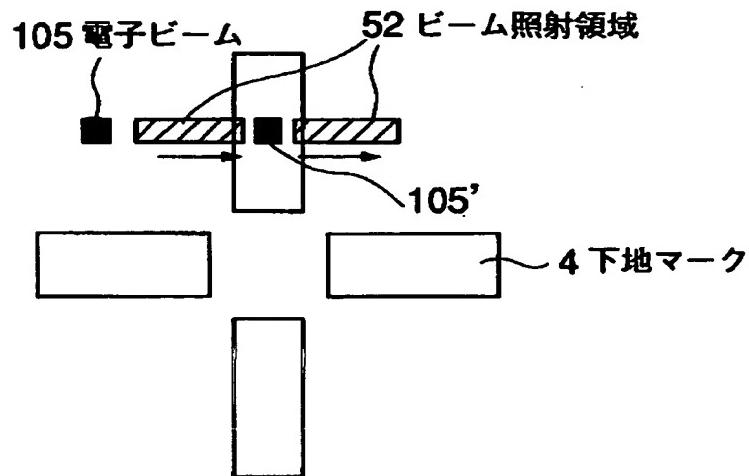


【図5】

(a) 第一のビーム照射

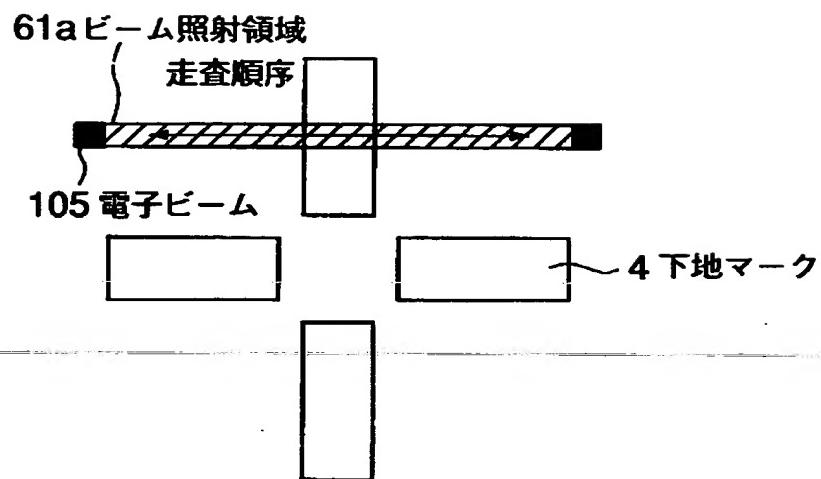


(b) 第二のビーム照射

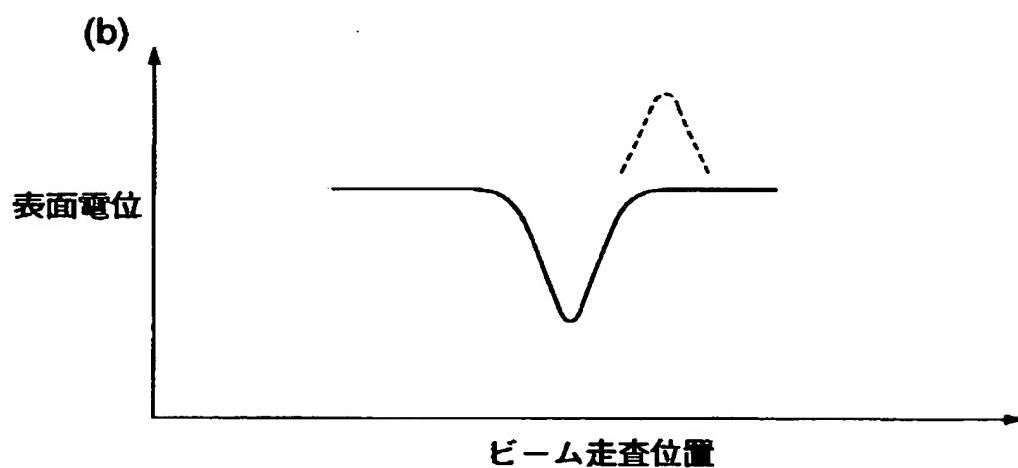


【図 6】

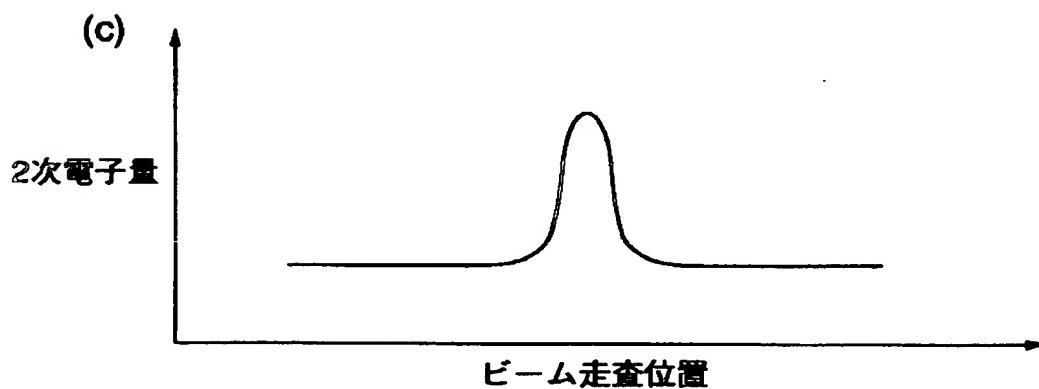
(a)



(b)

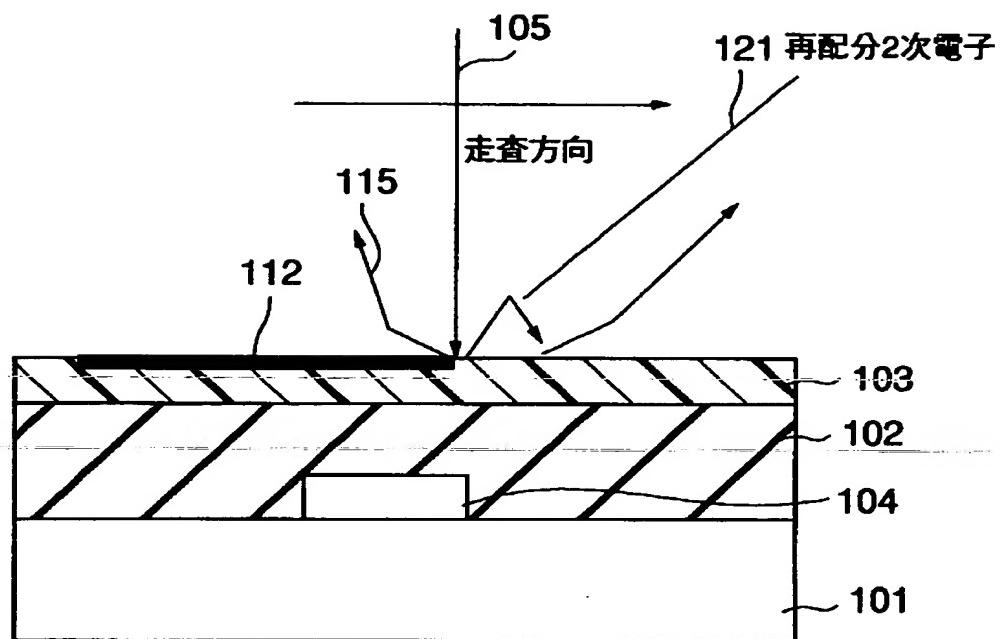


(c)

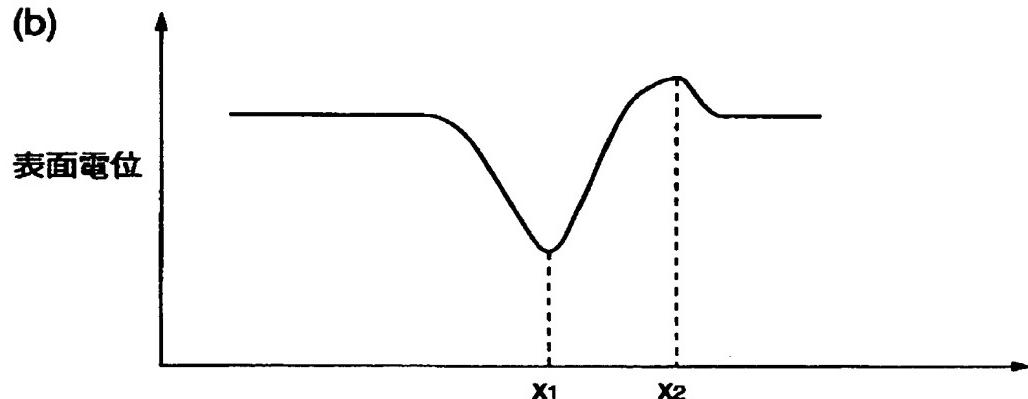


【図7】

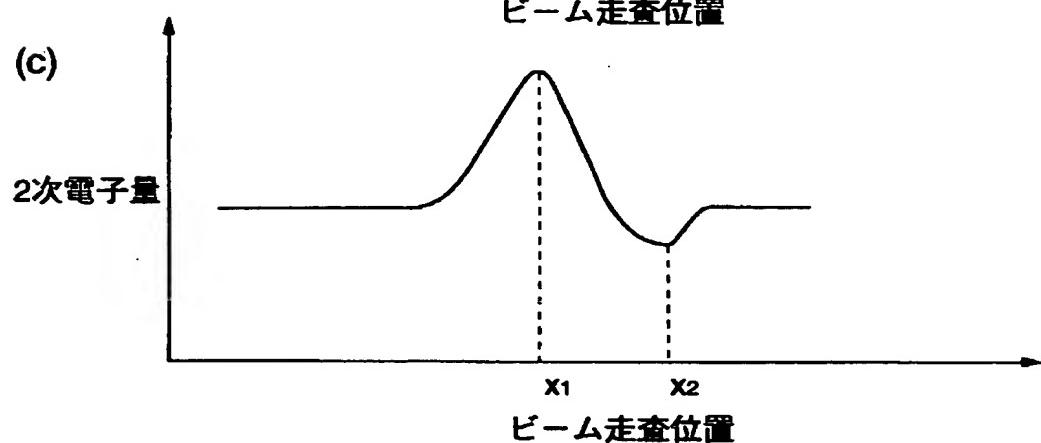
(a)



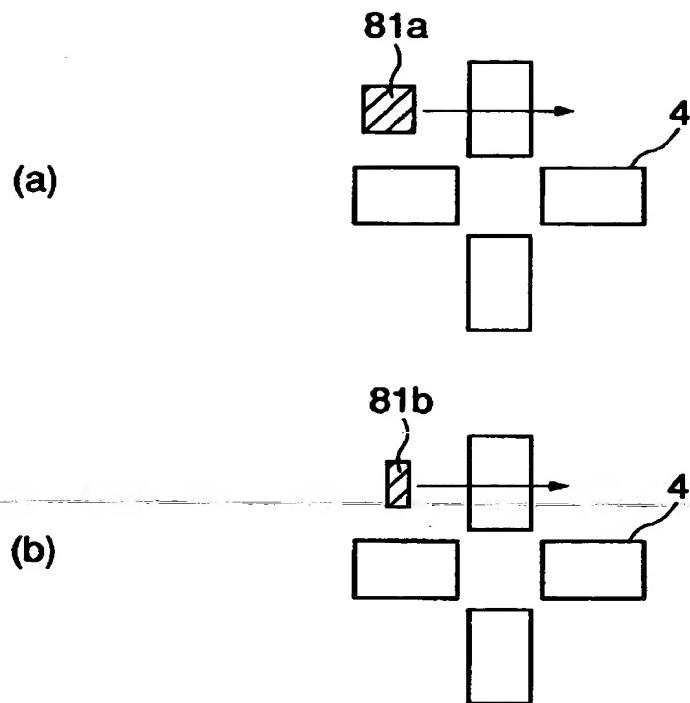
(b)



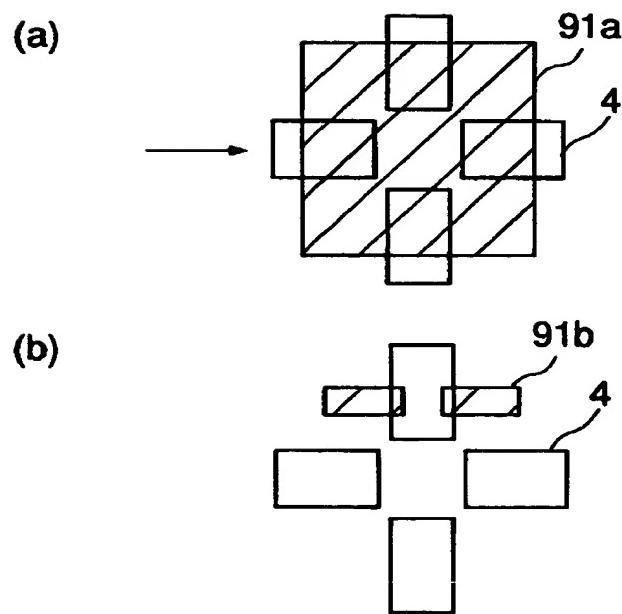
(c)



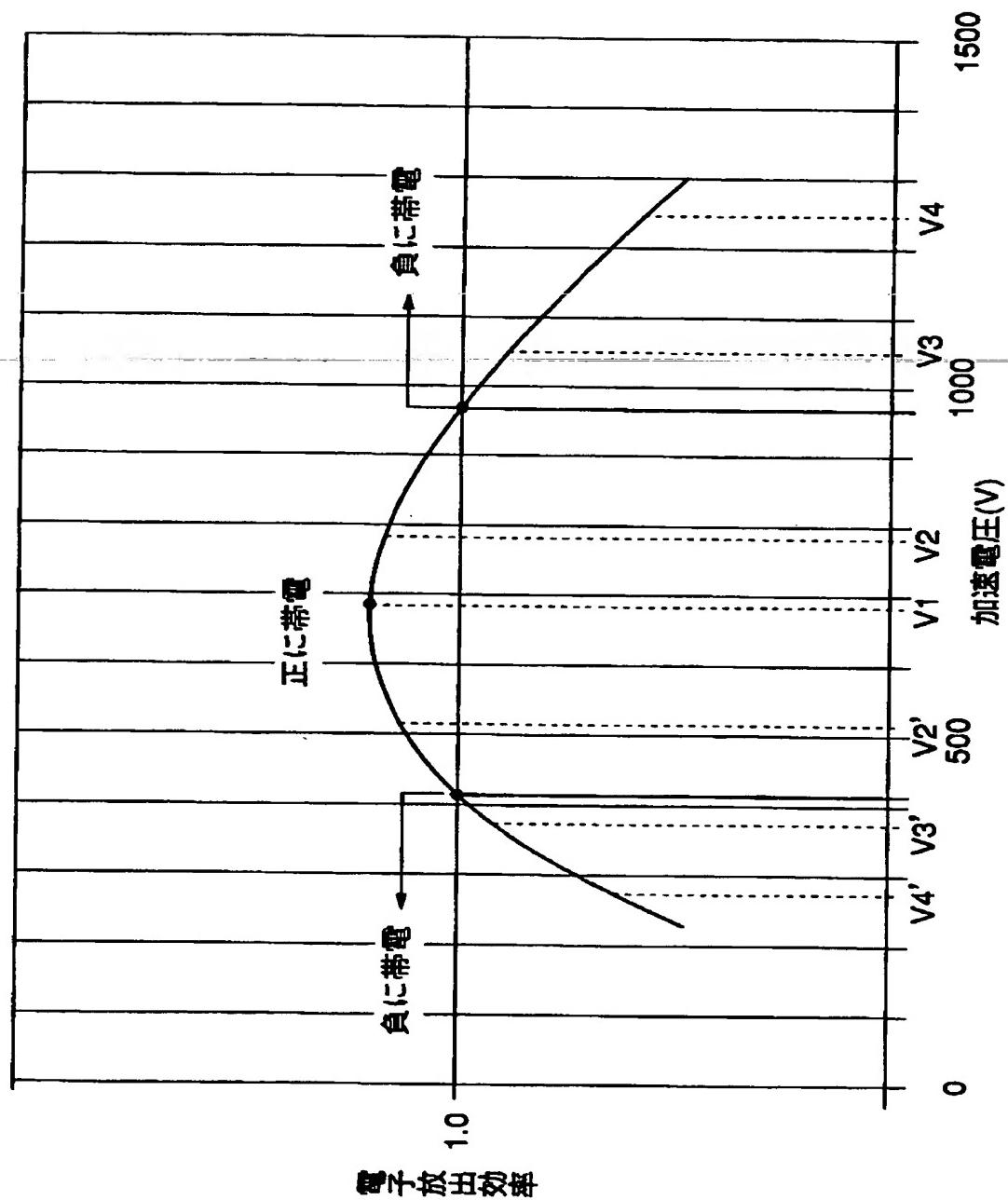
【図8】



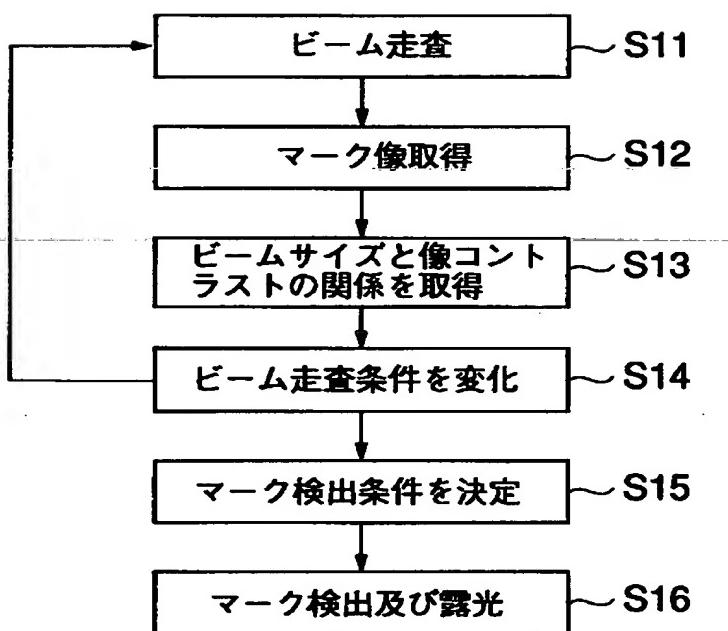
【図9】



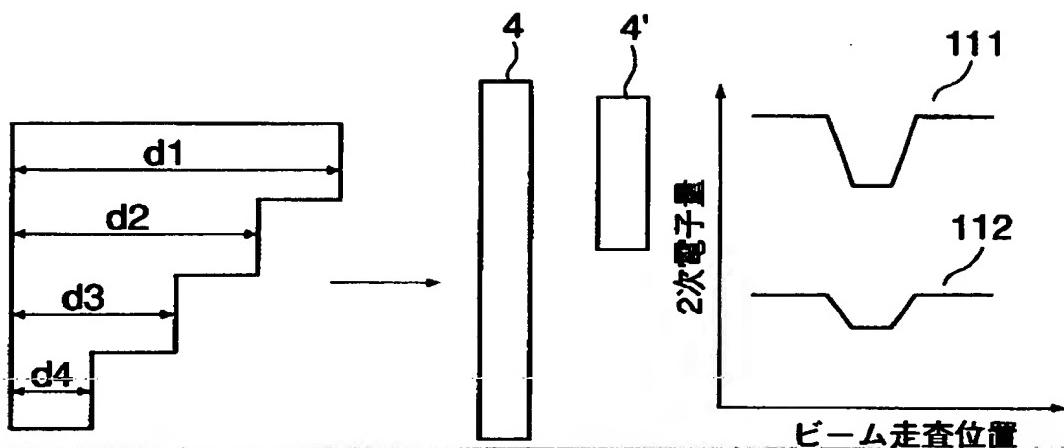
【図10】



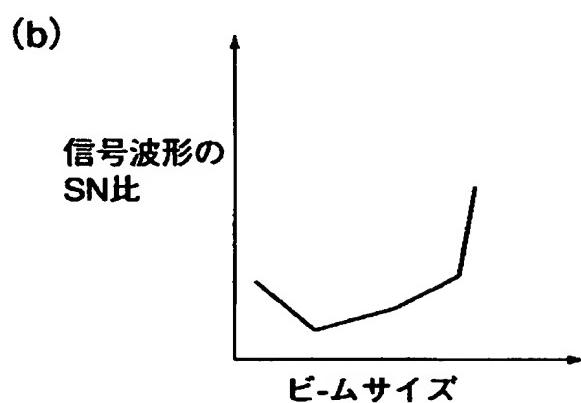
【図11】



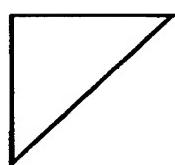
【図 12】



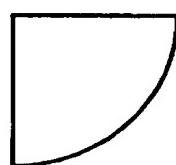
(a)



(b)

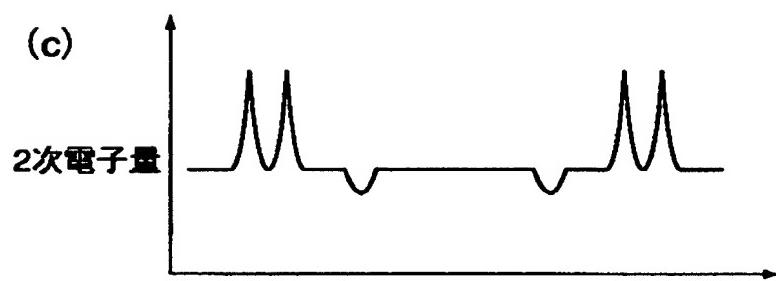
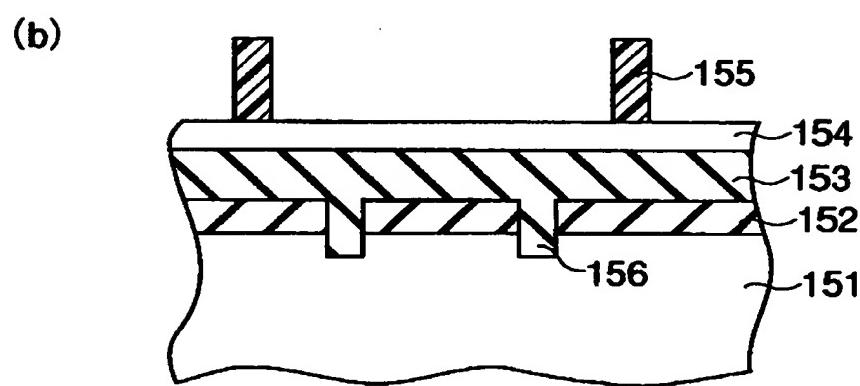
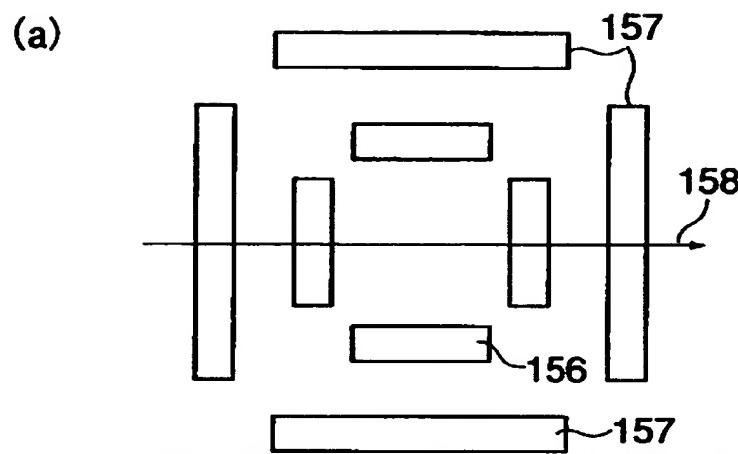


(c)

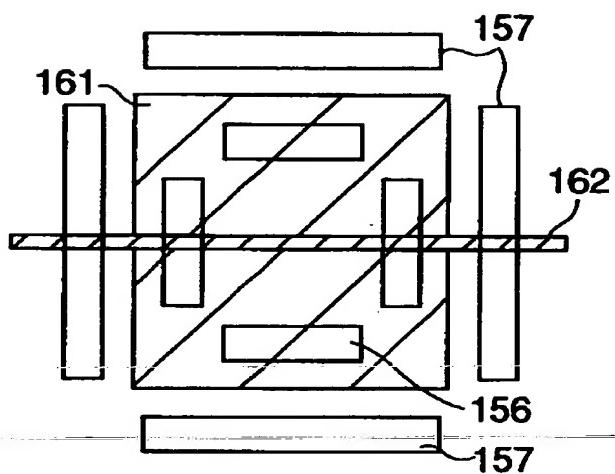


(d)

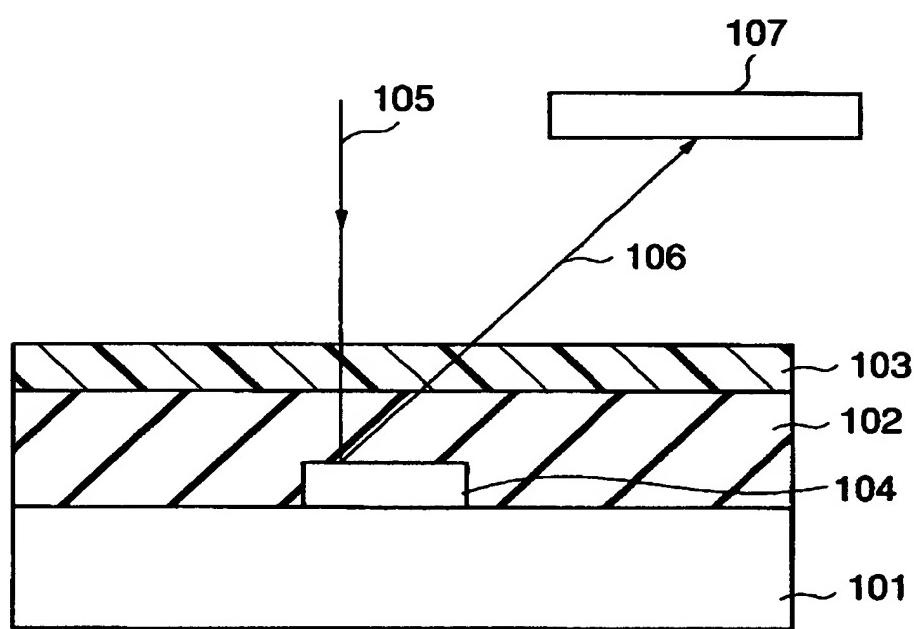
【図13】



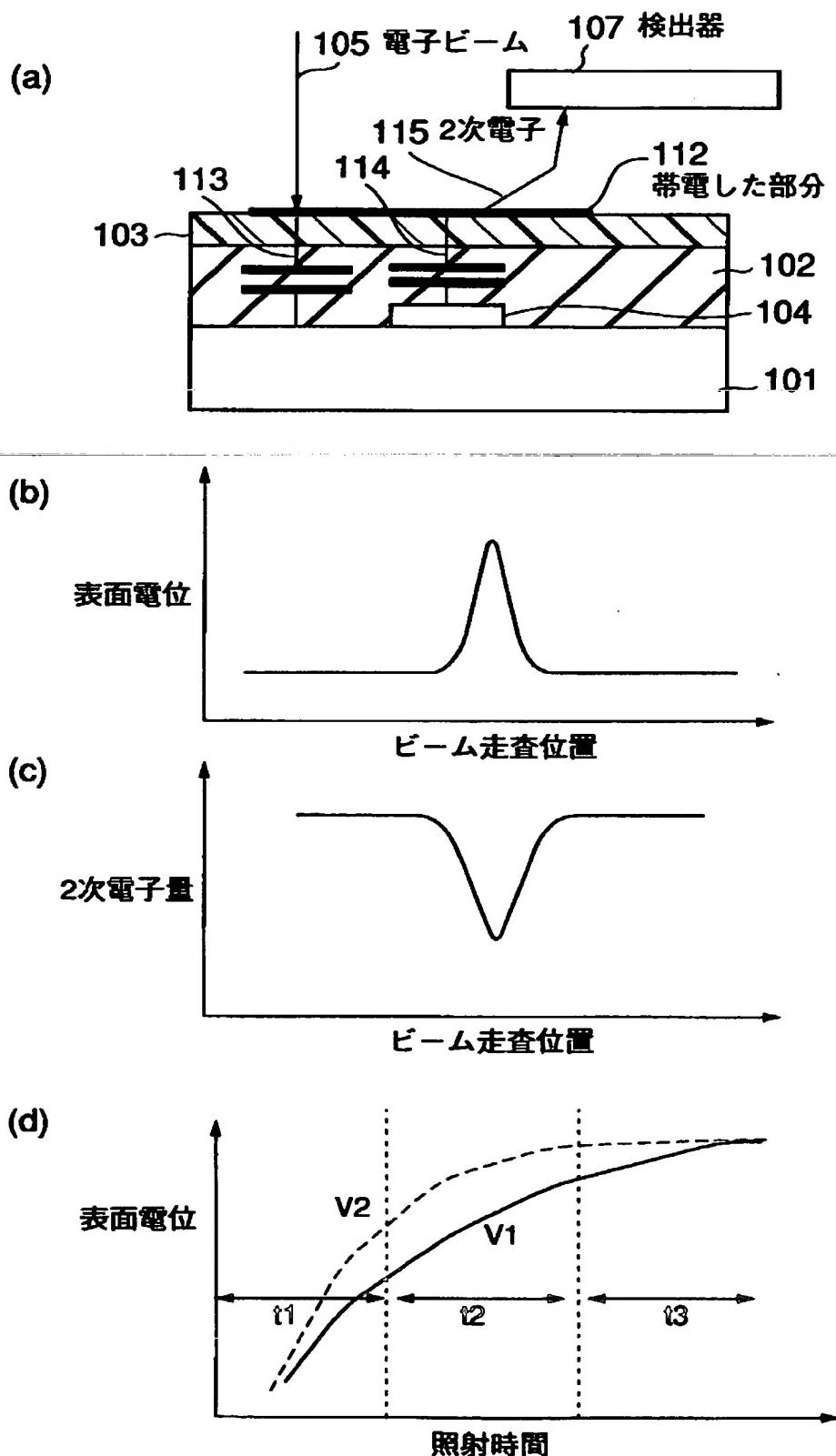
【図14】



【図15】



【図16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 より高精度なマーク位置の検出又は計測を実現する。

【解決手段】 2次電子放出効率の異なる材料で下地マークが形成された試料のマーク近傍に均等に電子ビームにより第1のビーム照射を行い（S3）試料表面を帯電させ、第1のビーム照射とは異なる条件により電子ビームにより第2のビーム照射を行い（S5）マークを走査して、試料表面からの2次電子を検出することによりマーク位置を求め（S7）、マーク位置に基づいて位置合わせ露光を行う（S9）。

【選択図】 図2

出願人履歴情報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日 1990年 8月22日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

氏 名 株式会社東芝